36 | 打稳根基：怎么实现一个TCP服务器？（上）

2022-01-24 Tony Bai

《Tony Bai · Go语言第一课》 课程介绍 >

讲述：Tony Bai
时长 33:13 大小 30.42M

你好，我是 Tony Bai。欢迎来到这门课的最后一个部分：实战篇。

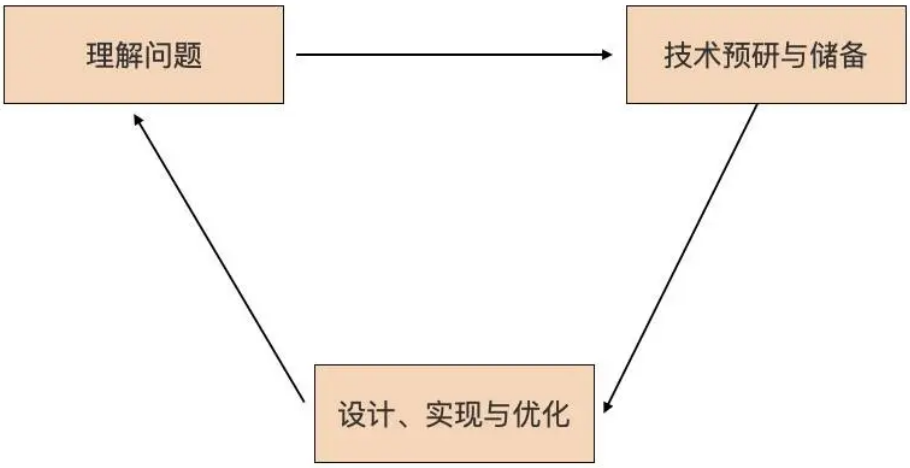
在进入正文之前，我先来说点题外话。去年我读过一本名为《陪孩子走过初中三年》的书，书中作者女儿的初中班主任有一句“名言”：“跟上了！”作者对这句名言的解读是：学习上，她强调孩子们学习的时候不要掉队，意思是一要跟上老师的步子，上课认真听讲，课后老师留的作业要不打折扣地去完成；二也要跟上年级和班级的进度。只要能紧紧地跟上，学习就不会有太大的问题。

在前面课程的留言区，我也经常用“**跟上了**”作为学习这门课的建议，和我一起同步走这里的同学，都是践行“跟上了”这句“名言”的典范，从开篇词到现在，你是不是已经感受到了自己在 Go 语言方面的进步了呢？

好了，我们言归正传。关于最后一篇写啥，我也想了许久。开篇词中提过，实战篇的职责是带着你走完 Go 语言学习的“最后一公里”，那究竟什么是“最后一公里呢？该如何理解这最后一公里呢？

我的理解是，在掌握了前面的 Go 语言语法的前提下，这“最后一公里”就是**面对一个实际问题的解决思路**。很多语言初学者都有这样一个问题，即便学完了语法，面对一个实际问题时，还是也不知道该从何处着手。

其实这个事并没有那么难，尤其是程序员这一行，遇到一个实际问题，我们通常使用这个思路：



我们简单解释一下这张图。

首先是要理解问题。解决实际问题的过程起始于对问题的理解。我们要搞清楚为什么会有这个问题，问题究竟是什么。对于技术人员来说，最终目的是识别出可能要用到的技术点。

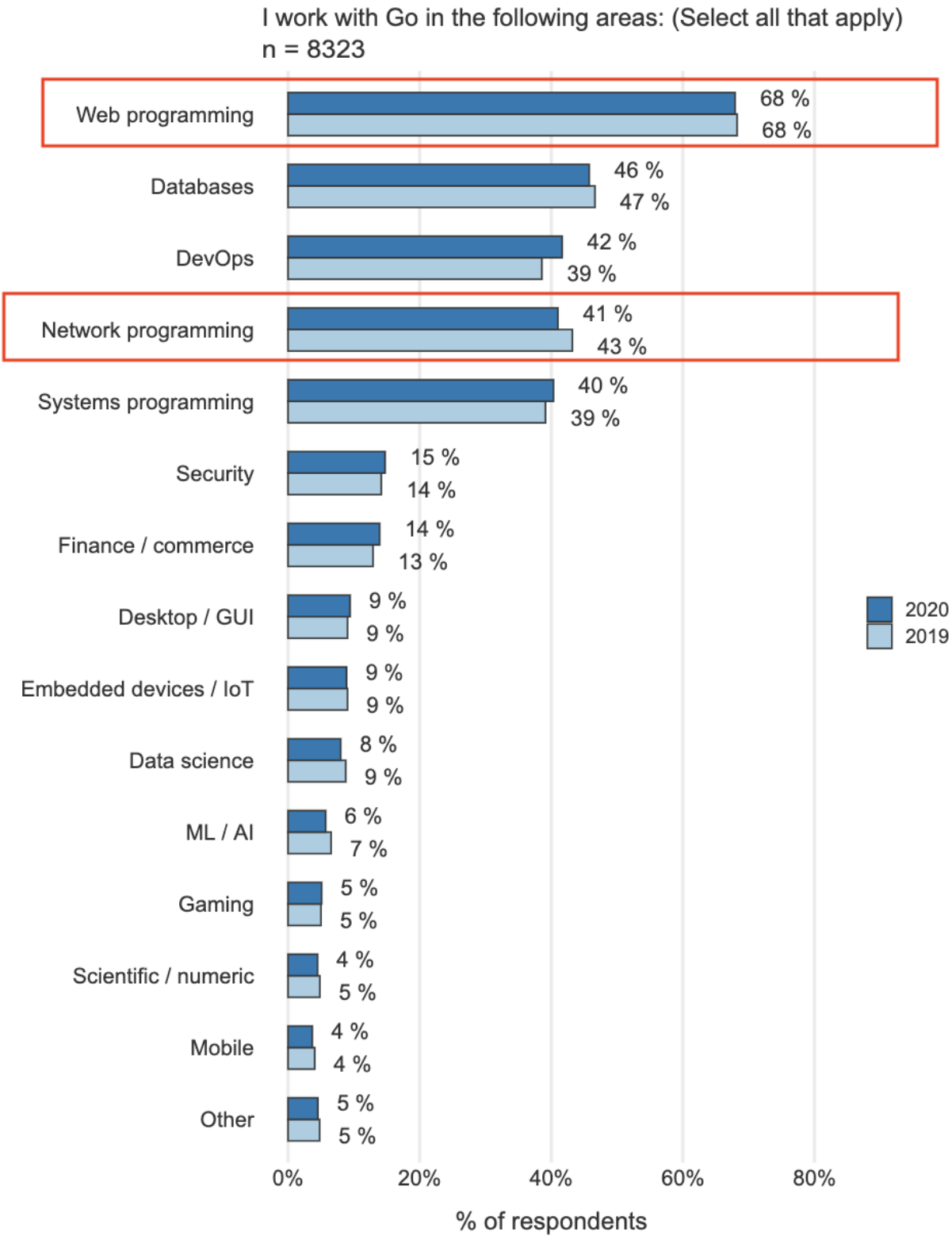
然后我们要对识别出的技术点，做相应的技术预研与储备。怎么做技术预研呢？我们至少要了解技术诞生的背景、技术的原理、技术能解决哪些问题以及不能解决哪些问题，还有技术的优点与不足，等等。当然，如果没有新技术点，可以忽略这一步。

最后，我们要基于技术预研和储备的结果，进行解决方案的设计与实现，这个是技术人最擅长的。

那为什么这个解决实际问题的步骤是一个循环呢？这是由问题的难易程度，以及人的认知能力有差别所决定的。如果问题简单或人的认知能力很强，我们可以一次性解决这个实际问题；如果问题复杂或人的认知能力稍弱，那么一个循环可能无法彻底解决这个问题，我们就会再一次进入该循环，直到问题得到完美解决。

你也看到了，这事儿说起来有些枯燥，那我们就来实践一下。在实战篇的这三讲中，我们就来“走一遍”这个过程。

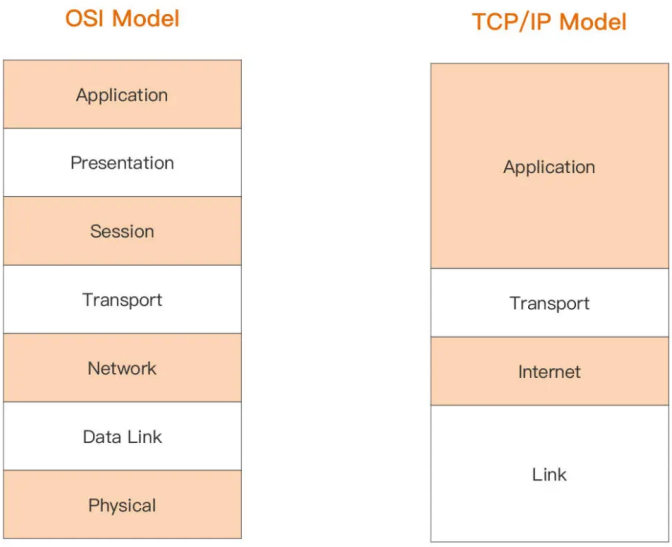
那我们选一个什么例子呢？我们还是从Go 官方用户 2020 调查报告中寻找答案，看看“我用 Go 在哪些领域开展工作”的调查结果：



我们看到，“**Web 编程**”和“**网络编程**”分别位列第一名和第四名，我们在 09 讲的小实战项目中曾接触过简单的 Web 编程，因此这里，我们选择一个不同于 Web 编程的网络编程的例子，做为实战篇的实战项目。在实战篇的三讲中，我们就参照这个实际问题解决过程循环，逐步来解决一个网络编程类的实际问题。

什么是网络编程

什么是网络编程呢？网络编程的范围很大，因为我们熟知的网络是分层的，OSI 规定了七层参考模型，而实际上我们使用的主流网络模型实现，是 TCP/IP 模型，它只有四层：



通常来说，我们更多关注 OSI 网络模型中的传输层（四层）与应用层（七层），也就是 TCP/IP 网络模型中的最上面两层。

TCP/IP 网络模型，实现了两种传输层协议：TCP 和 UDP。TCP 是面向连接的流协议，为通信的两端提供稳定可靠的数据传输服务；而 UDP 则提供了一种无需建立连接就可以发送数据包的方法。两种协议各有擅长的应用场景。

我们日常开发中使用最多的是 TCP 协议。基于 TCP 协议，我们实现了各种各样的满足用户需求的应用层协议。比如，我们常用的 HTTP 协议就是应用层协议的一种，而且是使用得最广泛的一种。而基于 HTTP 的 Web 编程就是一种针对应用层的网络编程。我们还可以**基于传输层暴露给开发者的编程接口，实现应用层的自定义应用协议**。

这个传输层暴露给开发者的编程接口，究竟是什么呢？目前各大主流操作系统平台中，最常用的传输层暴露给用户的网络编程接口，就是套接字（socket）。**直接基于 socket 编程实现应用层通信业务，也是最常见的一种网络编程形式**。

所以，这一节课，我们就使用一个基于 socket 网络编程的例子，我们先来看看这个例子对应的实际问题是什么。

问题描述

我们面临的实际问题是这样的：**实现一个基于 TCP 的自定义应用层协议的通信服务端**。仅仅这一句话，你可能还不是很清楚，我们展开说明一下。

我们的输入，是一个基于传输层自定义的应用层协议规范。由于 TCP 是面向连接的流协议传输机制，数据流本身没有明显的边界，这样定义协议时，就需要自行定义确定边界的方法，因此，基于 TCP 的自定义应用层协议通常有两种常见的定义模式：

二进制模式：采用长度字段标识独立数据包的边界。采用这种方式定义的常见协议包括 MQTT（物联网最常用的应用层协议之一）、SMPP（短信网关点对点接口协议）等；

文本模式：采用特定分隔符标识流中的数据包的边界，常见的包括 HTTP 协议等。

相比之下，二进制模式要比文本模式编码更紧凑也更高效，所以我们这个问题中的自定义协议也采用了**二进制模式**，协议规范内容如下图：

表：请求消息包定义

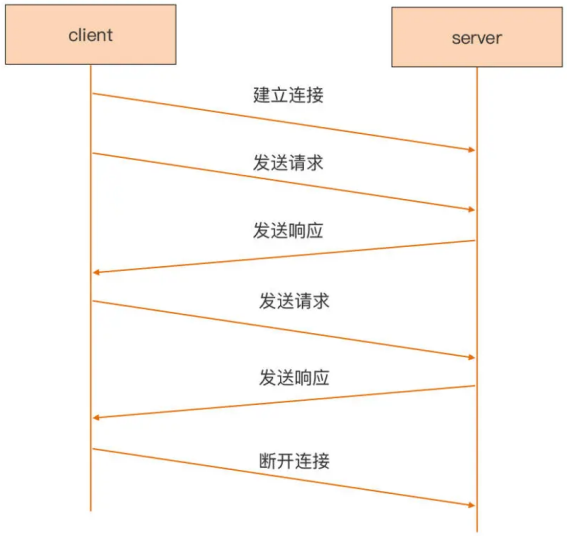
序号	字符名	类型	长度	描述
1	totalLength	uint32	4字节	消息总长度（含自身及后面消息体）
2	commandID	uint8	1字节	消息或响应的类型
3	ID	数字类型string	8字节	消息流水号（顺序累加，步长为1，循环使用 （一对请求和应答消息的流水号必须相同））
4	payload	字节序列	任意长度	消息的有效载荷，应用层需要的有效数据

表：响应消息包定义

序号	字符名	类型	长度	描述
1	totalLength	uint32	4字节	消息总长度（含自身及后面消息体）
2	commandID	uint8	1字节	消息或响应的类型
3	ID	数字类型string	8字节	消息流水号（顺序累加，步长为1，循环使用 （一对请求和应答消息的流水号必须相同））
4	result	uint8	1字节	响应状态（0：正常；1：错误）

极客时间

关于协议内容的分析，我们放到设计与实现的那一讲中再细说，这里我们再看一下使用这个协议的通信两端的通信流程：



极客时间

我们看到，这是一个典型的“请求 / 响应”通信模型。连接由客户端发起，建立连接后，客户端发起请求，服务端收到请求后处理并返回响应，就这样一个请求一个响应的进行下去，直到客户端主动断开连接为止。

而我们的任务，就是实现支持这个协议通信的服务端。

我们先假设各位小伙伴都没有亲自开发过类似的通信服务器，所以当理解完这个问题后，我们需要识别出解决这一问题可能使用到的技术点。不过这个问题并不复杂，我们可以很容易地识别出其中的技术点。

首先，前面说过 socket 是传输层给用户提供的编程接口，我们要进行的网络通信绕不开 socket，因此我们首先需要了解 socket 编程模型。

其次，一旦通过 socket 将双方的连接建立后，剩下的就是通过网络 I/O 操作在两端收发数据了，学习基本网络 I/O 操作的方法与注意事项也必不可少。

最后，任何一端准备发送数据或收到数据后都要对数据进行操作，由于 TCP 是流协议，我们需要了解针对字节的操作。

按照问题解决循环，一旦识别出技术点，接下来我们要做的就是技术预研与储备。在 Go 中，字节操作基本上就是 byte 切片的操作，这些用法我们在第 15 讲中已经学过了。所

以，这一讲，我们就来学习一下 **socket 编程模型以及网络 I/O 操作**，为后两讲的设计与实现打稳根基，做好铺垫。

TCP Socket 编程模型

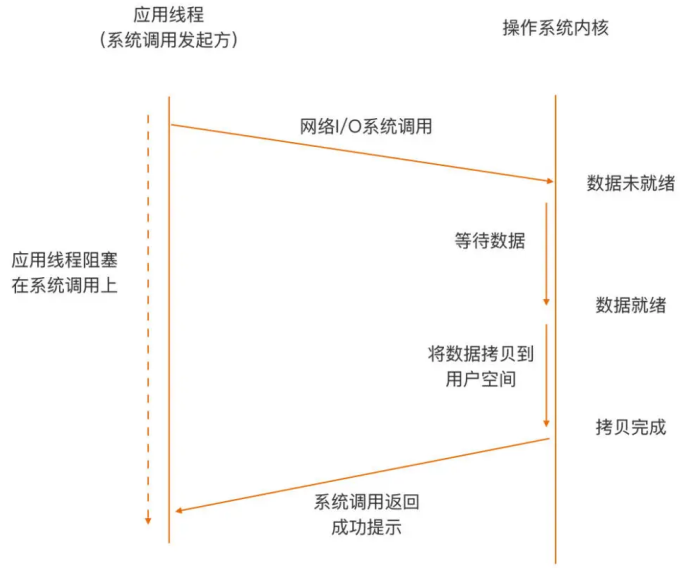
TCP Socket 诞生以来，它的编程模型，也就是网络 I/O 模型已几经演化。网络 I/O 模型定义的是应用线程与操作系统内核之间的交互行为模式。我们通常用**阻塞（Blocking）/非阻塞（Non-Blocking）**来描述网络 I/O 模型。

阻塞 / 非阻塞，是以内核是否等数据全部就绪后，才返回（给发起系统调用的应用线程）来区分的。如果内核一直等到全部数据就绪才返回，这种行为模式就称为**阻塞**。如果内核查看数据就绪状态后，即便没有就绪也立即返回错误（给发起系统调用的应用线程），那么这种行为模式则称为**非阻塞**。

常用的网络 I/O 模型包括下面这几种：

阻塞 I/O(Blocking I/O)

阻塞 I/O 是最常用的模型，这个模型下应用线程与内核之间的交互行为模式是这样的：



极客时间

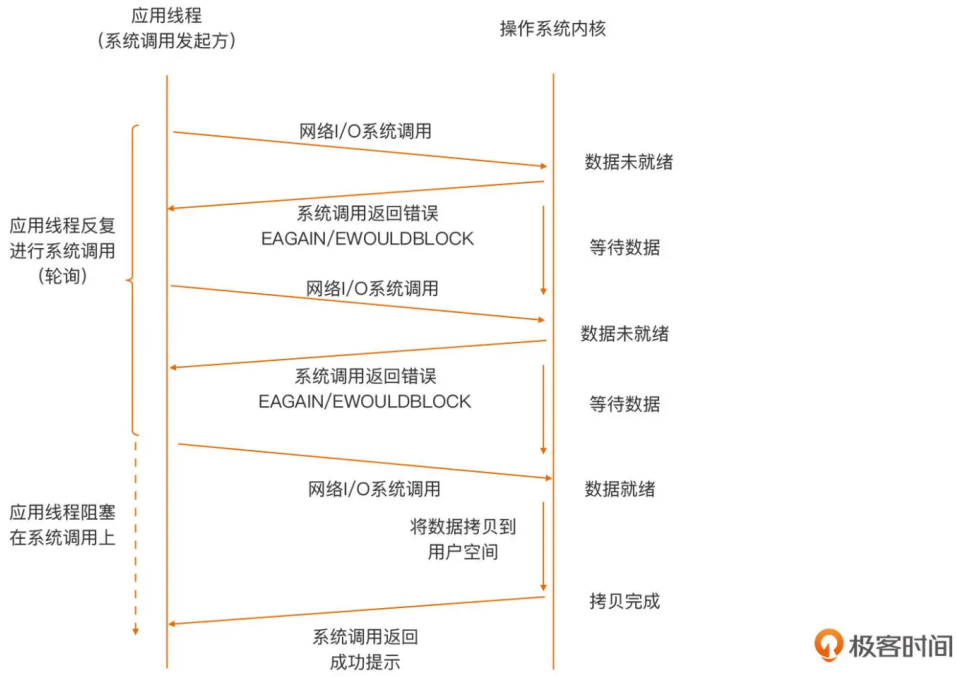
我们看到，在**阻塞 I/O 模型**下，当用户空间应用线程，向操作系统内核发起 I/O 请求后（一般为操作系统提供的 I/O 系列系统调用），内核会尝试执行这个 I/O 操作，并等所有

数据就绪后，将数据从内核空间拷贝到用户空间，最后系统调用从内核空间返回。而在这个期间内，用户空间应用线程将阻塞在这个 I/O 系统调用上，无法进行后续处理，只能等待。

因此，在这样的模型下，一个线程仅能处理一个网络连接上的数据通信。即便连接上没有数据，线程也只能阻塞在对 Socket 的读操作上（以等待对端的数据）。虽然这个模型对应用整体来说是低效的，但对开发人员来说，这个模型却是最容易实现和使用的，所以，各大平台在默认情况下都将 Socket 设置为阻塞的。

非阻塞 I/O（Non-Blocking I/O）

非阻塞 I/O 模型下，应用线程与内核之间的交互行为模式是这样的：



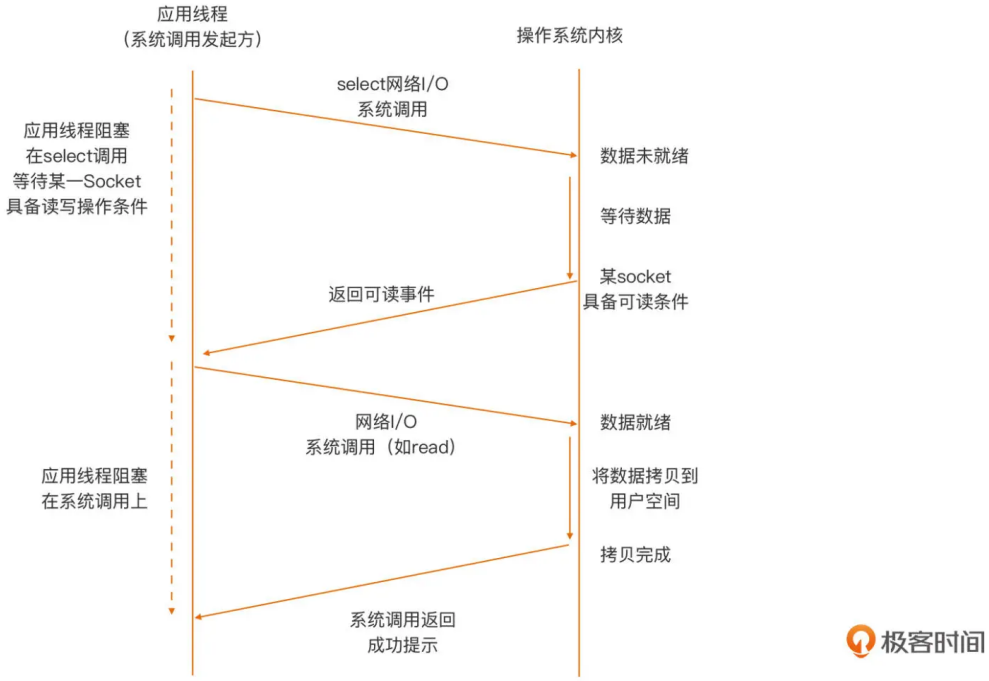
和阻塞 I/O 模型正相反，在**非阻塞模型**下，当用户空间线程向操作系统内核发起 I/O 请求后，内核会执行这个 I/O 操作，如果这个时候数据尚未就绪，就会立即将“未就绪”的状态以错误码形式（比如：EAGAIN/EWOULDBLOCK），返回给这次 I/O 系统调用的发起者。而后者就会根据系统调用的返回状态来决定下一步该怎么做。

在非阻塞模型下，位于用户空间的 I/O 请求发起者通常会通过轮询的方式，去一次次发起 I/O 请求，直到读到所需的数据为止。不过，这样的轮询是对 CPU 计算资源的极大浪费，因此，非阻塞 I/O 模型单独应用于实际生产的比例并不高。

I/O 多路复用（I/O Multiplexing）

为了避免非阻塞 I/O 模型轮询对计算资源的浪费，同时也考虑到阻塞 I/O 模型的低效，开发人员首选的网络 I/O 模型，逐渐变成了建立在内核提供的多路复用函数 select/poll 等（以及性能更好的 epoll 等函数）基础上的 **I/O 多路复用模型**。

这个模型下，应用线程与内核之间的交互行为模式如下图：



从图中我们看到，在这种模型下，应用线程首先将需要进行 I/O 操作的 Socket，都添加到多路复用函数中（这里以 select 为例），然后阻塞，等待 select 系统调用返回。当内核发现有数据到达时，对应的 Socket 具备了通信条件，这时 select 函数返回。然后用户线程会针对这个 Socket 再次发起网络 I/O 请求，比如一个 read 操作。由于数据已就绪，这次网络 I/O 操作将得到预期的操作结果。

我们看到，相比于阻塞模型一个线程只能处理一个 Socket 的低效，I/O 多路复用模型中，一个应用线程可以同时处理多个 Socket。同时，I/O 多路复用模型由内核实现可读 / 可写事件的通知，避免了非阻塞模型中轮询，带来的 CPU 计算资源浪费的问题。

目前，主流网络服务器采用的都是“I/O 多路复用”模型，有的也结合了多线程。不过，**I/O 多路复用**模型在支持更多连接、提升 I/O 操作效率的同时，也给使用者带来了不小的

复杂度，以至于后面出现了许多高性能的 I/O 多路复用框架，比如：libevent、libev、libuv等，以帮助开发者简化开发复杂性，降低心智负担。

那么，在这三种 socket 编程模型中，Go 语言使用的是哪一种呢？我们继续往下看。

Go 语言 socket 编程模型

Go 语言设计者考虑得更多的是 Gopher 的开发体验。前面我们也说过，阻塞 I/O 模型是对开发人员最友好的，也是心智负担最低的模型，而 **I/O 多路复用**的这种**通过回调割裂执行流**的模型，对开发人员来说还是过于复杂了，于是 Go 选择了为开发人员提供**阻塞 I/O 模型**，Gopher 只需在 Goroutine 中以最简单、最易用的**“阻塞 I/O 模型”**的方式，进行 Socket 操作就可以了。

再加上，Go 没有使用基于线程的并发模型，而是使用了开销更小的 Goroutine 作为基本执行单元，这让每个 Goroutine 处理一个 TCP 连接成为可能，并且在高并发下依旧表现出色。

不过，网络 I/O 操作都是系统调用，Goroutine 执行 I/O 操作的话，一旦阻塞在系统调用上，就会导致 M 也被阻塞，为了解决这个问题，Go 设计者将这个“复杂性”隐藏在 Go 运行时中，他们在运行时中实现了网络轮询器（netpoller），netpoller 的作用，就是只阻塞执行网络 I/O 操作的 Goroutine，但不阻塞执行 Goroutine 的线程（也就是 M）。

这样一来，对于 Go 程序的用户层（相对于 Go 运行时层）来说，它眼中看到的 goroutine 采用了“阻塞 I/O 模型”进行网络 I/O 操作，Socket 都是“阻塞”的。

但实际上，这样的“假象”，是通过 Go 运行时中的 netpoller **I/O 多路复用机制**，“模拟”出来的，对应的、真实的底层操作系统 Socket，实际上是非阻塞的。只是运行时拦截了针对底层 Socket 的系统调用返回的错误码，并通过 **netpoller** 和 Goroutine 调度，让 Goroutine“阻塞”在用户层所看到的 Socket 描述符上。

比如：当用户层针对某个 Socket 描述符发起`read`操作时，如果这个 Socket 对应的连接上还没有数据，运行时就会将这个 Socket 描述符加入到 netpoller 中监听，同时发起此次读操作的 Goroutine 会被挂起。

直到 Go 运行时收到这个 Socket 数据可读的通知，Go 运行时才会重新唤醒等待在这个 Socket 上准备读数据的那个 Goroutine。而这个过程，从 Goroutine 的视角来看，就像是 read 操作一直阻塞在那个 Socket 描述符上一样。

而且，Go 语言在网络轮询器（netpoller）中采用了 I/O 多路复用的模型。考虑到最常见的多路复用系统调用 select 有比较多的限制，比如：监听 Socket 的数量有上限（1024）、时间复杂度高，等等，Go 运行时选择了在不同操作系统上，使用操作系统各自实现的高性能多路复用函数，比如：Linux 上的 epoll、Windows 上的 iocp、FreeBSD/MacOS 上的 kqueue、Solaris 上的 event port 等，这样可以最大程度提高 netpoller 的调度和执行性能。

了解完 Go socket 编程模型后，接下来，我们就深入到几个常用的基于 socket 的网络 I/O 操作中，逐一了解一下这些操作的机制与注意事项。

socket 监听（listen）与接收连接（accept）

socket 编程的核心在于服务端，而服务端有着自己一套相对固定的套路：Listen+Accept。在这套固定套路的基础上，我们的服务端程序通常采用一个 Goroutine 处理一个连接，它的大致结构如下：

复制代码

```
func handleConn(c net.Conn) {
    defer c.Close()
    for {
        // read from the connection
        // ... ...
        // write to the connection
        //... ...
    }
}

func main() {
    l, err := net.Listen("tcp", ":8888")
    if err != nil {
        fmt.Println("listen error:", err)
        return
    }

    for {
        c, err := l.Accept()
        if err != nil {
            fmt.Println("accept error:", err)
```

```
22              break
23          }
24          // start a new goroutine to handle
25          // the new connection.
26          go handleConn(c)
27      }
28  }
```

在这个服务端程序中，我们在第 12 行使用了 net 包的 Listen 函数绑定（bind）服务器端口 8888，并将它转换为监听状态，Listen 返回成功后，这个服务会进入一个循环，并调用 net.Listener 的 Accept 方法接收新客户端连接。

在没有新连接的时候，这个服务会阻塞在 Accept 调用上，直到有客户端连接上来，Accept 方法将返回一个 net.Conn 实例。通过这个 net.Conn，我们可以和新连上的客户端进行通信。这个服务程序启动了一个新 Goroutine，并将 net.Conn 传给这个 Goroutine，这样这个 Goroutine 就专职负责处理与这个客户端的通信了。

而 net.Listen 函数很少报错，除非是监听的端口已经被占用，那样程序将输出类似这样的错误：

复制代码

```
1 bind: address already in use
```

当服务程序启动成功后，我们可以通过 netstat 命令，查看端口的监听情况：

复制代码

```
1 $netstat -an|grep 8888
2 tcp46       0      0  *.8888                 *.*                    LISTEN
```

了解了服务端的“套路”后，我们再来看看客户端。

向服务端建立 TCP 连接

一旦服务端按照上面的Listen + Accept结构成功启动，客户端便可以使用net.Dial或net.DialTimeout向服务端发起连接建立的请求：

复制代码

```
conn, err := net.Dial("tcp", "localhost:8888")
conn, err := net.DialTimeout("tcp", "localhost:8888", 2 * time.Second)
```

Dial 函数向服务端发起 TCP 连接，这个函数会一直阻塞，直到连接成功或失败后，才会返回。而 DialTimeout 带有超时机制，如果连接耗时大于超时时间，这个函数会返回超时错误。 对于客户端来说，连接的建立还可能会遇到几种特殊情形。

第一种情况：网络不可达或对方服务未启动。

如果传给Dial的服务端地址是网络不可达的，或者服务地址中端口对应的服务并没有启动，端口未被监听（Listen），Dial几乎会立即返回类似这样的错误：

复制代码

```
dial error: dial tcp :8888: getsockopt: connection refused
```

第二种情况：对方服务的 listen backlog 队列满。

当对方服务器很忙，瞬间有大量客户端尝试向服务端建立连接时，服务端可能会出现 listen backlog 队列满，接收连接（accept）不及时的情况，这就会导致客户端的Dial调用阻塞，直到服务端进行一次 accept，从 backlog 队列中腾出一个槽位，客户端的 Dial 才会返回成功。

而且，不同操作系统下 backlog 队列的长度是不同的，在 macOS 下，这个默认值如下：

复制代码

```
$sysctl -a|grep kern.ipc.somaxconn
kern.ipc.somaxconn: 128
```

在 Ubuntu Linux 下，backlog 队列的长度值与系统中net.ipv4.tcp_max_syn_backlog的设置有关。

那么，极端情况下，如果服务端一直不执行accept操作，那么客户端会一直阻塞吗？

答案是不会！我们看一个实测结果。如果服务端运行在 macOS 下，那么客户端会阻塞大约 1 分多钟，才会返回超时错误：

```
1 dial error: dial tcp :8888: getsockopt: operation timed out
```

复制代码

而如果服务端运行在 Ubuntu 上，客户端的Dial调用大约在 2 分多钟后提示超时错误，这个结果也和 Linux 的系统设置有关。

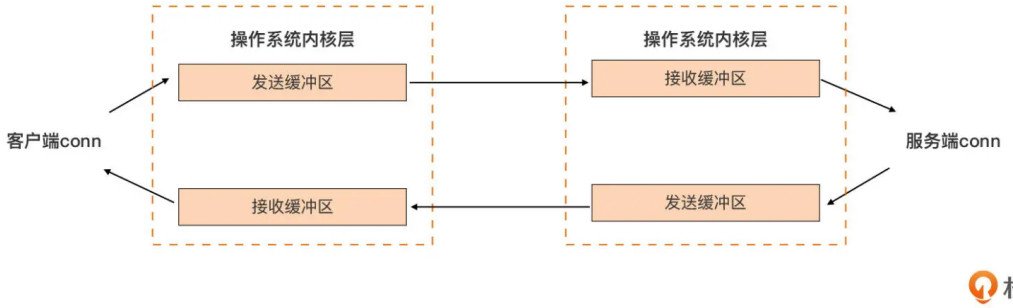
第三种情况：若网络延迟较大，Dial 将阻塞并超时。

如果网络延迟较大，TCP 连接的建立过程（三次握手）将更加艰难坎坷，会经历各种丢包，时间消耗自然也会更长，这种情况下，Dial函数会阻塞。如果经过长时间阻塞后依旧无法建立连接，那么Dial也会返回类似getsockopt: operation timed out的错误。

在连接建立阶段，多数情况下Dial是可以满足需求的，即便是阻塞一小会儿也没事。但对于那些需要有严格的连接时间限定的 Go 应用，如果一定时间内没能成功建立连接，程序可能会需要执行一段“错误”处理逻辑，所以，这种情况下，我们使用DialTimeout函数更适合。

全双工通信

一旦客户端调用 Dial 成功，我们就在客户端与服务端之间建立起了一条全双工的通信通道。通信双方通过各自获得的 Socket，可以在向对方发送数据包的同时，接收来自对方的数据包。下图展示了系统层面对这条全双工通信通道的实现原理：



任何一方的操作系统，都会为已建立的连接分配一个发送缓冲区和一个接收缓冲区。

以客户端为例，客户端会通过成功连接服务端后得到的 conn（封装了底层的 socket）向服务端发送数据包。这些数据包会先进入到己方的发送缓冲区中，之后，这些数据会被操作系统内核通过网络设备和链路，发到服务端的接收缓冲区中，服务端程序再通过代表客户端连接的 conn 读取服务端接收缓冲区中的数据，并处理。

反之，服务端发向客户端的数据包也是先后经过服务端的发送缓冲区、客户端的接收缓冲区，最终到达客户端的应用的。

理解了这个通信原理，我们再理解下面的 Socket 操作就容易许多了。

Socket 读操作

连接建立起来后，我们就要在连接上进行读写以完成业务逻辑。我们前面说过，Go 运行时隐藏了 **I/O 多路复用**的复杂性。Go 语言使用者只需采用 **Goroutine+ 阻塞 I/O 模型**，就可以满足大部分场景需求。Dial 连接成功后，会返回一个 net.Conn 接口类型的变量值，这个接口变量的底层类型为一个 *TCPConn：

复制代码

```
//$GOROOT/src/net/tcpsock.go
type TCPConn struct {
    conn
}
```

TCPConn 内嵌了一个非导出类型：conn（封装了底层的 socket），因此，TCPConn“继承”了conn类型的Read和Write方法，后续通过Dial函数返回值调用的Read和Write方法都是 net.conn 的方法，它们分别代表了对 socket 的读和写。

接下来，我们先来通过几个场景来总结一下 Go 中从 socket 读取数据的行为特点。

首先是 Socket 中无数据的场景。

连接建立后，如果客户端未发送数据，服务端会阻塞在 Socket 的读操作上，这和前面提到的“阻塞 I/O 模型”的行为模式是一致的。执行该这个操作的 Goroutine 也会被挂起。

Go 运行时会监视这个 Socket，直到它有数据读事件，才会重新调度这个 Socket 对应的 Goroutine 完成读操作。

第二种情况是 Socket 中有部分数据。

如果 Socket 中有部分数据就绪，且数据数量小于一次读操作期望读出的数据长度，那么读操作将会成功读出这部分数据，并返回，而不是等待期望长度数据全部读取后，再返回。

举个例子，服务端创建一个长度为 10 的切片作为接收数据的缓冲区，等待 Read 操作将读取的数据放入切片。当客户端在已经建立成功的连接上，成功写入两个字节的数据（比如：hi）后，服务端的 Read 方法将成功读取数据，并返回`n=2，err=nil`，而不是等收满 10 个字节后才返回。

第三种情况是 Socket 中有足够数据。

如果连接上有数据，且数据长度大于等于一次Read操作期望读出的数据长度，那么Read将会成功读出这部分数据，并返回。这个情景是最符合我们对Read的期待的了。

我们以上面的例子为例，当客户端在已经建立成功的连接上，成功写入 15 个字节的数据后，服务端进行第一次Read时，会用连接上的数据将我们传入的切片缓冲区（长度为 10）填满后返回：`n = 10, err = nil`。这个时候，内核缓冲区中还剩 5 个字节数据，当服务端再次调用Read方法时，就会把剩余数据全部读出。

最后一种情况是设置读操作超时。

有些场合，对 socket 的读操作的阻塞时间有严格限制的，但由于 Go 使用的是阻塞 I/O 模型，如果没有可读数据，Read 操作会一直阻塞在对 Socket 的读操作上。

这时，我们可以通过 net.Conn 提供的 SetReadDeadline 方法，设置读操作的超时时间，当超时后仍然没有数据可读的情况下，Read 操作会解除阻塞并返回超时错误，这就给 Read 方法的调用者提供了进行其他业务处理逻辑的机会。

SetReadDeadline 方法接受一个绝对时间作为超时的 deadline，一旦通过这个方法设置了某个 socket 的 Read deadline，那么无论后续的 Read 操作是否超时，只要我们不重新

设置 Deadline，那么后面与这个 socket 有关的所有读操作，都会返回超时失败错误。

下面是结合 SetReadDeadline 设置的服务端一般处理逻辑：

复制代码

```
func handleConn(c net.Conn) {
    defer c.Close()
    for {
        // read from the connection
        var buf = make([]byte, 128)
        c.SetReadDeadline(time.Now().Add(time.Second))
        n, err := c.Read(buf)
        if err != nil {
            log.Printf("conn read %d bytes,  error: %s", n, err)
            if nerr, ok := err.(net.Error); ok && nerr.Timeout() {
                // 进行其他业务逻辑的处理
                continue
            }
            return
        }
        log.Printf("read %d bytes, content is %s\n", n, string(buf[:n]))
    }
}
```

如果我们要取消超时设置，可以使用 SetReadDeadline（time.Time{}）实现。

Socket 写操作

通过 net.Conn 实例的 Write 方法，我们可以将数据写入 Socket。当 Write 调用的返回值 n 的值，与预期要写入的数据长度相等，且 err = nil 时，我们就执行了一次成功的 Socket 写操作，这是我们在调用 Write 时遇到的最常见的情形。

和 Socket 的读操作一些特殊情形相比，Socket 写操作遇到的特殊情形同样不少，我们也逐一看一下。

第一种情况：写阻塞。

TCP 协议通信两方的操作系统内核，都会为这个连接保留数据缓冲区，调用 Write 向 Socket 写入数据，实际上是将数据写入到操作系统协议栈的数据缓冲区中。TCP 是全双工

通信，因此每个方向都有独立的数据缓冲。当发送方将对方的接收缓冲区，以及自身的发送缓冲区都写满后，再调用 Write 方法就会出现阻塞的情况。

我们来看一个具体例子。这个例子的客户端代码如下：

复制代码

```
func main() {
    log.Println("begin dial...")
    conn, err := net.Dial("tcp", ":8888")
    if err != nil {
        log.Println("dial error:", err)
        return
    }
    defer conn.Close()
    log.Println("dial ok")

    data := make([]byte, 65536)
    var total int
    for {
        n, err := conn.Write(data)
        if err != nil {
            total += n
            log.Printf("write %d bytes, error:%s\n", n, err)
            break
        }
        total += n
        log.Printf("write %d bytes this time, %d bytes in total\n", n, total)
    }

    log.Printf("write %d bytes in total\n", total)
}
```

客户端每次调用 Write 方法向服务端写入 65536 个字节，并在 Write 方法返回后，输出此次 Write 的写入字节数和程序启动后写入的总字节数量。

服务端的处理程序逻辑，我也摘录了主要部分，你可以看一下：

复制代码

```
... ...
func handleConn(c net.Conn) {
    defer c.Close()
    time.Sleep(time.Second * 10)
    for {
        // read from the connection
```

```
        time.Sleep(5 * time.Second)
        var buf = make([]byte, 60000)
        log.Println("start to read from conn")
        n, err := c.Read(buf)
        if err != nil {
            log.Printf("conn read %d bytes,  error: %s", n, err)
            if nerr, ok := err.(net.Error); ok && nerr.Timeout() {
                continue
            }
        }

        log.Printf("read %d bytes, content is %s\n", n, string(buf[:n]))
    }
}
... ...
```

我们可以看到，服务端在前 10 秒中并不读取数据，因此当客户端一直调用 Write 方法写入数据时，写到一定量后就会发生阻塞。你可以看一下客户端的执行输出：

复制代码

```
2022/01/14 14:57:33 begin dial...
2022/01/14 14:57:33 dial ok
2022/01/14 14:57:33 write 65536 bytes this time, 65536 bytes in total
... ...
2022/01/14 14:57:33 write 65536 bytes this time, 589824 bytes in total
2022/01/14 14:57:33 write 65536 bytes this time, 655360 bytes in total  <-- 之
```

后续当服务端每隔 5 秒进行一次读操作后，内核 socket 缓冲区腾出了空间，客户端就又可以写入了：

复制代码

```
服务端：

2022/01/14 15:07:01 accept a new connection
2022/01/14 15:07:16 start to read from conn
2022/01/14 15:07:16 read 60000 bytes, content is
2022/01/14 15:07:21 start to read from conn
2022/01/14 15:07:21 read 60000 bytes, content is
2022/01/14 15:07:26 start to read from conn
2022/01/14 15:07:26 read 60000 bytes, content is
....
```

```
客户端(得以继续写入)：

2022/01/14 15:07:01 write 65536 bytes this time, 720896 bytes in total
2022/01/14 15:07:06 write 65536 bytes this time, 786432 bytes in total
2022/01/14 15:07:16 write 65536 bytes this time, 851968 bytes in total
2022/01/14 15:07:16 write 65536 bytes this time, 917504 bytes in total
2022/01/14 15:07:27 write 65536 bytes this time, 983040 bytes in total
2022/01/14 15:07:27 write 65536 bytes this time, 1048576 bytes in total
```

第二种情况：写入部分数据。

Write 操作存在写入部分数据的情况，比如上面例子中，当客户端输出日志停留在“write 65536 bytes this time, 655360 bytes in total”时，我们杀掉服务端，这时我们就会看到客户端输出以下日志：

复制代码

```
...
2022/01/14 15:19:14 write 65536 bytes this time, 655360 bytes in total
2022/01/14 15:19:16 write 24108 bytes, error:write tcp 127.0.0.1:62245->127.0.
2022/01/14 15:19:16 write 679468 bytes in total
```

显然，Write并不是在 655360 这个地方阻塞的，而是后续又写入 24108 个字节后发生了阻塞，服务端 Socket 关闭后，我们看到客户端又写入 24108 字节后，才返回的broken pipe错误。由于这 24108 字节数据并未真正被服务端接收到，程序需要考虑妥善处理这些数据，以防数据丢失。

第三种情况：写入超时。

如果我们非要给 Write 操作增加一个期限，可以调用 SetWriteDeadline 方法。比如，我们可以将上面例子中的客户端源码拷贝一份，然后在新客户端源码中的 Write 调用之前，增加一行超时时间设置代码：

复制代码

```
conn.SetWriteDeadline(time.Now().Add(time.Microsecond * 10))
```

然后先后启动服务端与新客户端，我们可以看到写入超时的情况下，Write 方法的返回结果：

复制代码

```
客户端输出：

2022/01/14 15:26:34 begin dial...
2022/01/14 15:26:34 dial ok
2022/01/14 15:26:34 write 65536 bytes this time, 65536 bytes in total
... ...
2022/01/14 15:26:34 write 65536 bytes this time, 655360 bytes in total
2022/01/14 15:26:34 write 24108 bytes, error:write tcp 127.0.0.1:62325->127.0.
2022/01/14 15:26:34 write 679468 bytes in total
```

我们可以看到，在 Write 方法写入超时时，依旧存在**数据部分写入（仅写入 24108 个字节）**的情况。另外，和 SetReadDeadline 一样，只要我们通过 SetWriteDeadline 设置了写超时，那无论后续 Write 方法是否成功，如果不重新设置写超时或取消写超时，后续对 Socket 的写操作都将以超时失败告终。

综合上面这些例子，虽然 Go 给我们提供了阻塞 I/O 的便利，但在调用`Read`和`Write`时，依旧要综合函数返回的`n`和`err`的结果以做出正确处理。

不过，前面说的 Socket 读与写都是限于单 Goroutine 下的操作，如果多个 Goroutine 并发读或写一个 socket 会发生什么呢？我们继续往下看。

并发 Socket 读写

Goroutine 的网络编程模型，决定了存在着不同 Goroutine 间共享`conn`的情况，那么`conn`的读写是否是 Goroutine 并发安全的呢？不过，在深入这个问题之前，我们先从应用的角度上，看看并发 read 操作和 write 操作的 Goroutine 安全的必要性。

对于 Read 操作而言，由于 TCP 是面向字节流，`conn.Read`无法正确区分数据的业务边界，因此，多个 Goroutine 对同一个 conn 进行 read 的意义不大，Goroutine 读到不完整的业务包，反倒增加了业务处理的难度。

但对与 Write 操作而言，倒是有多个 Goroutine 并发写的情况。不过 conn 读写是否是 Goroutine 安全的测试并不是很好做，我们先深入一下运行时代码，从理论上给这个问题

定个性。

首先，net.conn只是*netFD 的外层包裹结构，最终 Write 和 Read 都会落在其中的fd字段上：

复制代码

```
//$GOROOT/src/net/net.go
type conn struct {
    fd *netFD
}
```

另外，netFD 在不同平台上有着不同的实现，我们以net/fd_posix.go中的netFD为例看看：

复制代码

```
// $GOROOT/src/net/fd_unix.go

// Network file descriptor.
type netFD struct {
    pfd poll.FD

    // immutable until Close
    family      int
    sotype      int
    isConnected bool // handshake completed or use of association with peer
    net         string
    laddr       Addr
    raddr       Addr
}


```

netFD 中最重要的字段是 poll.FD 类型的 pfd，它用于表示一个网络连接。我也把它的结构摘录了一部分：

复制代码

```
// $GOROOT/src/internal/poll/fd_unix.go

// FD is a file descriptor. The net and os packages use this type as a
// field of a larger type representing a network connection or OS file.
```

```
type FD struct {
    // Lock sysfd and serialize access to Read and Write methods.
    fdmu fdMutex

    // System file descriptor. Immutable until Close.
    Sysfd int

    // I/O poller.
    pd pollDesc

    // Writev cache.
    iovecs *[]syscall.Iovec
    ... ...
}
```

我们看到，FD类型中包含了一个运行时实现的fdMutex类型字段。从它的注释来看，这个fdMutex用来串行化对字段Sysfd的 Write 和 Read 操作。也就是说，所有对这个 FD 所代表的连接的 Read 和 Write 操作，都是由fdMutex来同步的。从FD的 Read 和 Write 方法的实现，也证实了这一点：

复制代码

```
// $GOROOT/src/internal/poll/fd_unix.go

func (fd *FD) Read(p []byte) (int, error) {
    if err := fd.readLock(); err != nil {
        return 0, err
    }
    defer fd.readUnlock()
    if len(p) == 0 {
        // If the caller wanted a zero byte read, return immediately
        // without trying (but after acquiring the readLock).
        // Otherwise syscall.Read returns 0, nil which looks like
        // io.EOF.
        // TODO(bradfitz): make it wait for readability? (Issue 15735)
        return 0, nil
    }
    if err := fd.pd.prepareRead(fd.isFile); err != nil {
        return 0, err
    }
    if fd.IsStream && len(p) > maxRW {
        p = p[:maxRW]
    }
    for {
        n, err := ignoringEINTRIO(syscall.Read, fd.Sysfd, p)
        if err != nil {
            n = 0
            if err == syscall.EAGAIN && fd.pd.pollable() {
```

```
                if err = fd.pd.waitRead(fd.isFile); err == nil {
                    continue
                }
            }
        }
        err = fd.eofError(n, err)
        return n, err
    }
}

func (fd *FD) Write(p []byte) (int, error) {
    if err := fd.writeLock(); err != nil {
        return 0, err
    }
    defer fd.writeUnlock()
    if err := fd.pd.prepareWrite(fd.isFile); err != nil {
        return 0, err
    }
    var nn int
    for {
        max := len(p)
        if fd.IsStream && max-nn > maxRW {
            max = nn + maxRW
        }
        n, err := ignoringEINTRIO(syscall.Write, fd.Sysfd, p[nn:max])
        if n > 0 {
            nn += n
        }
        if nn == len(p) {
            return nn, err
        }
        if err == syscall.EAGAIN && fd.pd.pollable() {
            if err = fd.pd.waitWrite(fd.isFile); err == nil {
                continue
            }
        }
        if err != nil {
            return nn, err
        }
        if n == 0 {
            return nn, io.ErrUnexpectedEOF
        }
    }
}
```

你看，每次 Write 操作都是受 lock 保护，直到这次数据全部写完才会解锁。因此，在应用层面，要想保证多个 Goroutine 在一个conn上 write 操作是安全的，需要一次 write 操作完整地写入一个“业务包”。一旦将业务包的写入拆分为多次 write，那也无法保证某个 Goroutine 的某“业务包”数据在conn发送的连续性。

同时，我们也可以看出即便是 Read 操作，也是有 lock 保护的。多个 Goroutine 对同一conn的并发读，不会出现读出内容重叠的情况，但就像前面讲并发读的必要性时说的那样，一旦采用了不恰当长度的切片作为 buf，很可能读出不完整的业务包，这反倒会带来业务上的处理难度。

比如一个完整数据包：world，当 Goroutine 的读缓冲区长度 < 5 时，就存在这样一种可能：一个 Goroutine 读出了“worl”，而另外一个 Goroutine 读出了"d"。

最后我们再来看看 Socket 关闭。

Socket 关闭

通常情况下，当客户端需要断开与服务端的连接时，客户端会调用 net.Conn 的 Close 方法关闭与服务端通信的 Socket。如果客户端主动关闭了 Socket，那么服务端的Read调用将会读到什么呢？这里要分“有数据关闭”和“无数据关闭”两种情况。

“有数据关闭”是指在客户端关闭连接（Socket）时，Socket 中还有服务端尚未读取的数据。在这种情况下，服务端的 Read 会成功将剩余数据读取出来，最后一次 Read 操作将得到io.EOF错误码，表示客户端已经断开了连接。如果是在“无数据关闭”情形下，服务端调用的 Read 方法将直接返回io.EOF。

不过因为 Socket 是全双工的，客户端关闭 Socket 后，如果服务端 Socket 尚未关闭，这个时候服务端向 Socket 的写入操作依然可能会成功，因为数据会成功写入己方的内核 socket 缓冲区中，即便最终发不到对方 socket 缓冲区也会这样。因此，当发现对方 socket 关闭后，己方应该正确合理处理自己的 socket，再继续 write 已经没有任何意义了。

小结

好了，今天的课讲到这里就结束了，从这一讲开始我们开启了实战篇的学习。

在实战篇中，我会带着你“走完最后一公里”，所谓“最后一公里”，我的理解是从空有一身 Go“绝技”到可以解决实际问题的进化，在这个过程中，我们需要怎么做？我们可以跟着理解问题、技术预研与储备，以及设计、实现与优化这三个循环解决思路，完成这个进化。

这一讲，我们的实际问题聚焦在**实现一个基于 TCP 的自定义应用层协议的通信服务端**，我们分析了通信协议与通信过程，并识别出若干技术点，其中以 socket 编程模型与网络 I/O 操作为重点，对这两个技术点进行了预研与储备。

虽然目前主流 socket 网络编程模型是 I/O 多路复用模型，但考虑到这个模型在使用时的体验较差，Go 语言将这种复杂性隐藏到运行时层，并结合 Goroutine 的轻量级特性，在用户层提供了基于 I/O 阻塞模型的 Go socket 网络编程模型，这一模型就大大降低了 gopher 在编写 socket 应用程序时的心智负担。

而且，Go 在 net 包中提供了针对 socket 的各种操作函数与方法，在这一讲中我们详细分析了其中的重要函数的使用，以及这些函数在特殊场景下需要注意的事项，你一定要掌握这一部分，因为这是我们下一讲进行设计与实现根基与铺垫。

思考题

这一讲内容比较多，针对 Go net 包提供的各种操作，我建议你自己编写代码，逐个去实现这一讲中各个操作里的示例代码，为下一讲做好充分的准备。

欢迎你把这节课分享给更多感兴趣的朋友。我是 Tony Bai，我们下节课见。

分享给需要的人，Ta订阅超级会员，你将得 50 元

Ta单独购买本课程，你将得 20 元

生成海报并分享

赞 3 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 加餐 | 如何拉取私有的Go Module？

下一篇 37 | 代码操练：怎么实现一个TCP服务器？（中）

更多学习推荐

精选留言 (8)

写留言

River
2022-01-28

白老师，tc, ok := c.(*TCPConn) 这是什么用法？ 是把变量 c 强制转换成一个新的*TCPConn类型变量吗，并返回一个布尔值（表示强转是否成功吗？），变量后跟".()"的用法既不像调用变量的属性也不想调用变量的方法，这种用法是go语言内置的吗？

作者回复: 接口的type assert(类型断言)语法。看核心篇28讲中的接口语法部分有说明。

1

Da Vinci
2022-01-24

整个课程下来，感觉自己还是收获不少的，以前很多比较模糊的东西，学习完课程后很明了了，被白老师圈粉了。

作者回复: 哈哈😁

1

bearlu

2022-01-24

老师，有没有netpoller的相关实现资料参考？

作者回复: 我最初是看了这篇文章 https://morsmachine.dk/netpoller ，之后自己read source code的。只有自己读代码，结果才深刻。

1

bearlu

2022-01-24

谢谢老师。我跟上了。还特意买了你新出的Go语言精进之路1，2，打算过年继续精进。

作者回复: 👍。

1

aoe

2022-02-12

终于明白用 Go 替换 Java 做 IO 密集型压测为什么没有压到性的优势。因为多个 Goroutine 从 conn 中读写时都有锁保护，没有逃出枷锁。

Calvin

2022-01-26

老师，文章中"I/O 多路复用框架"的举例中：
1、libev 的链接点击没反应（是 http://software.schmorp.de/pkg/libev.html 这个链接吗？）；
2、libuv 的链接对应的 github 仓库貌似已经迁移到 https://github.com/libuv/libuv 了。

作者回复: 1. 是的，文中链接好像多了一个空格，导致无效了。
2. 确实。感谢提醒。我让编辑老师改一下。

在下宝龙、

2022-01-24

老师我想问一下 按照老师你的图，select不是也阻塞了线程么，应用线程也不能做其他的事情，难道应用线程和select的线程不是同一个吗

作者回复: io多路复用顾名思义，一个线程可以处理多个socket，只要有一个socket上可读或可写，线程就会忙碌起来。当然如果所有socket都不可读，也不可写，那么该线程的确是处理阻塞状态。但这和一个线程仅能处理一个socket，还阻塞在该socket的读/写上相比，是有质的飞跃的。

罗杰

2022-01-24

并发往 socket 中写数据时，需要一次 write 操作完整的写入一个“业务包”，这实现有点难呀，万一只成功写入一部分，这可不能回滚呀。

作者回复: 你的业务场景中有并发写一个conn的情况么？

共 2 条评论 >